مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۳۴، شماره ۳، سال ۱۳۹۷

10.22092/spij.2020.119087

ارزیابی دو نسل از دو جمعیت تتراپلوئید چغندرقند از نظر مقاومت به ساقه‌روی

Evaluation of Resistance to Bolting in Two Sugar Beat Generations Developed from Two Tetraploid Populations

محسن آقایی‌زاده[۱]، مجید محرم‌زاده[۲]، اباذر رجبی[۳]، سعید صادق‌زاده حمایتی[۴] و پرویز فصاحت[۵]

۱، ۴ و ۵- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و توریج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- پژوهشگر، بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و توریج کشاورزی، اردبیل، ایران.
۳- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و توریج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۴

چکیده

آقایی‌زاده ، م.، محرم‌زاده ، م.، رجبی، ا.، صادق‌زاده حمایتی، س.، و فصاحت، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی دو نسل از دو جمعیت تتراپلوئید چغندرقند از نظر مقاومت به ساقه‌روی. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۳۴:** ۳۵۳- ۳۴۱.

مهم‌ترین مزیت کشت پائیزه چغندرقند نسبت به کشت بهاره نیاز آبی کمتر آن است، ولی یکی از ضروریات کشت پائیزه استفاده از ارقام مقاوم به ساقه‌روی می‌باشد. با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه کشت سطح متفاوتی از مقاومت مورد نیاز است. هدف از مطالعه حاضر، تولید و ارزیابی پایه‌های گرده‌افشان مقاوم به ساقه‌روی براساس گزینش ژنوتیپ‌های نیمه‌خواهری بود. در مهر سال ۱۳۸۹ تعداد ۲۵۰ فامیل نیمه‌خواهری متعلق به دو جمعیت تتراپلوئید ۱۲۴۶۰ و ۱۲۶۵۰ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی اولتان (مغان) کشت و از نظر مقاومت به ساقه‌روی غربال شدند. براساس ارزیابی‌ها، از جمعیت اول تعداد چهار فامیل و از جمعیت دوم، یک فامیل مقاوم انتخاب شد. در سال ۱۳۹۲، از چهار فامیل جمعیت ۱۲۴۶۰ مجدداً ۱۲۰ فامیل و از تنها فامیل منتخب جمعیت ۱۲۶۵۰ ۹۰ فامیل نیمه‌خواهری جدید تهیه شد که به‌صورت کشت پائیزه طی دو سال ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ به‌همراه جمعیت‌های والدینی، چهار شاهد مقاوم و یک شاهد حساس به ساقه‌روی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه مغان ارزیابی شدند. تنوع قابل توجهی در میان فامیل‌های نیمه‌خواهری از نظر مقاومت به ساقه‌روی مشاهده شد. در جمعیت ۱۲۴۶۰ نود و هشت فامیل و در جمعیت ۱۲۶۵۰ چهل و هفت فامیل مقاوم‌تر از جمعیت والدینی بودند و با آن تفاوت معنی‌دار داشتند، که حاکی از تاثیر مثبت گزینش برای افزایش مقاومت به ساقه‌روی بود. وراثت‌پذیری خصوصی برای مقاومت به ساقه‌روی در فامیل‌های دو جمعیت ۱۲۴۶۰ و ۱۲۶۵۰ به‌ترتیب معادل ۸۵ و ۶۶ درصد برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: چغندرقند، فامیل نیمه‌خواهری، کشت پائیزه، وراثت‌پذیری خصوصی.

نگارنده مسئول: mohsen_agh@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۲۶۱۳

مقدمه

گیاهـان چرخـه‌های روز و شـب و فصـلی را دنبال می‌کنند تا سوخت و ساز، رشد و نمو خـود را با تغییـر شـرایط محیط زیسـت پیرامـون خـود تطبیـق دهنـد. ایـن انعطاف‌پـذیری نیازمنـد درک پیام یا ادغام آن، تغییر بیان ژن در پاسخ به علائـم و برقراری این پاسخ تا زمان تغییر مجـدد شـرایط است. یک گـام عمـده در چرخـه زنـدگی گیـاه گـذار از مرحلـه رویشـی بـه زایشـی اسـت کـه گلـدهی را بـه عنـوان یـک صـفت مهـم بـرای انطباق‌پـذیری گیـاه کنتـرل می‌کنـد. نشـانه‌های فصـلی ماننـد تغییـرات دمـا و طـول روز، ایـن اطمینان را بوجود می‌آورند که گلدهی با شـرایط مطلوب برای فرار از تنش و بـه حـداکثر رسـاندن فتوسنتز و تولید بذر همزمان می‌شود.

در آب و هوای معتدل، گونـه‌های خاصـی از جملـه غـلات معتدلـه (ماننـد گنـدم و جـو) و گونـــه‌های دولپـــه‌ای (ماننـــد آرابیدوپســـیس و چغندرقند) نیاز به قـرار گـرفتن طـولانی مـدت در معـــرض دمـــای پـــائین زمســـتان بـــرای سرعت بخشـیدن بـه پیشـرفت از فـاز رویشـی بـه زایشـی دارنـد کـه از آن بـه عنـوان فرآینـد بهاره‌ســازی (Vernalization) یــاد می‌شــود (Alimirzaee *et al*., 2018; Fasahat *et al*., 2018a). نیاز به بهاره‌سازی یـک صـفت سـازگاری اسـت که مانع از شروع گلدهی پیش از زمستان و بـروز خسارت شدید سرما در مریستم‌های حساس گـل می‌شود. دوره طولانی مدت سرما در طـول زمـان در حافظـه گیـاه ثبـت شـده و سـبب تحریـک گلدهی همزمان با افزایش درجه حرارت در بهـار می‌شود (Fasahat *et al*., 2018a).

چغندرقند گیاهی دوساله است که برای گـذر از مرحلـه رویشـی بـه زایشـی نیـاز بـه یـک دوره سـرما (دمـای ۸-۴ درجـه سـانتی‌گـراد بـه مـدت حـــداقل ده هفتـــه) بـــرای بهـــاره شـــدن دارد (Alimirzaee *et al*., 2018). ایـن فرآینـد نیازمند طویل شدن ساقه مـرتبط بـا فعالیت‌هـای میتوزی سلول‌های غیرجنسی مریسـتم انتهـایی آن اســـت و از ســـاکارز ذخیـــره شـــده بـــرای تشـکیل انـدام‌هـای گـل اسـتفاده مـی‌شـود (Wellensiek, 1964; Hebrard *et al*., 2013; Hebrard *et al*., 2015; Fasahat *et al*., 2018b).

در شـرایط طـول روز بلنـد، آلـل غالـب *B* (بدون سرمادهی) سبب تحریک ساقه‌روی شـده در حالی کـه در گیاهـان حامـل آلـل مغلـوب *b*، ســـاقه‌روی نیازمنـــد بهـــاره‌ســـازی و بـــه دنبـــال آن شـــرایط طـــول روز بلنـــد اســـت (Biancardi *et al*., 2005). ساقه‌روی منجـر بـه گلـدهی گیـاه و تولیـد بـذر مـی‌شـود. بنـابراین، کنتـــــرل ســـــاقه‌روی و گلـــــدهی بـــــرای زراعـــت و اصـــلاح چغندرقنـــد مهـــم می‌باشـــد (Andres and Coupland, 2012; Broccanello *et al*., 2015; Hebrard *et al*., 2015).

لایسـگارد (Lysgaard, 1978) مقاومـت بـه ساقه‌روی را بـه‌عنـوان یـک صـفت چنـدژنی بـا درجـات متفـاوتی از مقاومـت گـزارش کـرد. هرچنـد کـه مـارکوم (Marcum, 1948) قبـل از آن نشـان داد کـه مقاومـت بـه سـاقه‌روی تحـت

کنترل ژن‌های مغلوب با غالبیت حساسیت به ساقه‌روی است. اخیراً نقش عوامل فراژنتیکی در کنترل عملکرد ژن‌های مسئول ساقه‌روی بسیار مورد توجه قرار گرفته و گزارشات مختلفی در این زمینه ارائه شده است (Fasahat *et al.*, 2018a).

در آزمایشات مزرعه‌ای، گزینش براساس ارزیابی نتاج بر گزینش فنوتیپی ارجحیت دارد (Biancardi *et al.*, 2005). بنابراین گزینش توده‌ای (بالک) و به دنبال آن گزینش نتاج در تولید ارقام مقاوم به ساقه‌روی موثر است. موتاسا-گاتجنز و همکاران (Mutasa-Gottgens *et al.*, 2010) نشان دادند که در شرایط تیمار نور و دمای کمتر از حد مطلوب برای گلدهی چغندرقند، شرایط مناسب برای انتخاب فامیل‌های مقاوم به ساقه‌روی فراهم می‌شود.

صادقیان و شریفی (Sadeghian and Sharifi, 1999) تعداد ۲۲ لاین منوژرم چغندرقند را در معرض تیمارهای دمای پائین، دمای نرمال، و طول روز بلند به مدت شش هفته قرار دادند. پس از شروع ساقه‌روی، لاین‌های حساس حذف شده و لاین‌های مقاوم مجدداً به مدت هشت هفته در معرض دمای پائین قرار گرفتند. بذر لاین‌های مقاوم در شرایط ایزوله برداشت و در کشت پائیزه مورد ارزیابی قرار گرفت که در نهایت ۱۱ لاین خالص‌سازی شد. در مطالعه‌ای دیگر، افزایش مقاومت به ساقه‌روی در گرده‌افشان‌های مولتی‌ژرم چغندرقند بررسی و تاثیر مثبت گزینش برای مقاومت به ساقه‌روی در تک بوته‌ها گزارش شد که نشان دهنده مقاومت بالاتر آن‌ها نسبت به جمعیت والدینی بود (Takahashi *et al.*, 2005).

اوگاتا و همکاران (Ogata *et al.*, 2005)، ۱۲ لاین اوتایپ چغندرقند را به مدت ۴۰ روز در معرض سرما قرار داده و سپس بوته‌ها را به شرایط نرمال انتقال دادند. تک بوته‌های مقاوم انتخاب و مجدداً سرمادهی و در نهایت بذرگیری شدند. مقایسه لاین‌های جدید با جمعیت‌های والدینی نشان دهنده موفقیت گزینش و افزایش مقاومت به ساقه‌روی بود.

در راستای اصلاح و تهیه ارقام مقاوم به ساقه روی برای مناطق کشت پائیزه چغندرقند، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند موفق به اصلاح و تهیه ارقام هیبرید منوژرم با نام رسول و شریف شده است. روش به‌نژادی این ارقام مبتنی بر گزینش دوره‌ای از گرده‌افشان‌ها و نرعقیم‌های ژنتیکی با استفاده از جفت تلاقی در کیج و تهیه سینگل کراس و ترکیب آن با گرده‌افشان تتراپلوئید بود. با توجه به اهمیت مقاومت به ساقه روی در چغندرقند برای کشت پائیزه، مطالعه حاضر با هدف افزایش مقاومت به ساقه‌روی در نتاج دو جمعیت تتراپلوئید چغندرقند براساس گزینش دو نسل فامیل‌های نیمه خواهری انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

تعـداد ۲۵۰ فامیـل نیمـه‌خـواهری تتراپلوئیـد متعلـق بـه دو جمعیـت متحمـل بـه سـاقه‌روی بـا شـماره ۱۲۴۶۰ (شـامل ۱۴۰ فامیـل) و ۱۲۶۵۰ (شامل ۱۱۰ فامیل) به‌همراه جمعیت‌های والـدینی مذکور، یک شاهد مقاوم و یـک شـاهد حسـاس در نیمـه اول مهـر سـال ۱۳۸۹ در مزرعـه ایسـتگاه تحقیقات کشاورزی اولتان واقع در منطقـه مغـان کشـت و از نظـر مقاومـت بـه سـاقه‌روی غربـال شدند. بذر هر ژنوتیـپ در یـک ردیـف بـه‌طـول ۱۰ متر کشت و پس از هـر ۲۰ ژنوتیـپ یـک‌بـار هر دو شاهد آزمایش تکرار شد.

عملیات داشت مطـابق عـرف منطقـه صـورت گرفت. در اسفند پس از سپری شـدن دوره سـرما نسبت به تنک مزرعه اقدام شد. تعداد بوته در هر ردیـف شـمارش شـد. در دهـه اول خـرداد سـال ۱۳۹۰ نیز مجدداً تعداد بوته و تعداد بوته بـه سـاقه رفته در هر فامیل شمارش و درصد ساقه‌روی هـر ژنوتیپ محاسبه شد. در هر خـط حـدود ۵۰ بوتـه بـرای ارزیـابی وجـود داشـت. بـر اسـاس درصـد ساقه‌روی، تعداد چهار فامیـل از جمعیـت ۱۲۴۶۰ و یک فامیل از جمعیت ۱۲۶۵۰ با حـداقل میـزان ساقه‌روی انتخاب شد.

به‌منظـور تکثیـر بـذر فامیـل‌هـای برتـر و تهیـه فامیل‌های جدید از آنها، در شـهریور سـال ۱۳۹۱ مابقی بذر پنج فامیل منتخب در مزرعه تحقیقـاتی ستاد موسسه در کرج کشت شد. بوته‌هـا درطـول زمستان جهت بهاره‌سازی در مزرعه حفظ شـدند و در بهار سال ۱۳۹۲ ریشه‌های هر فامیل بـه یـک قطعـه ایزولـه انتقـال یافـت. در هـر قطعـه ایزولـه، گرده‌افشانی به‌صورت آزاد انجام گرفت ولـی در زمان برداشت بذر در اواخر تیـر سـال ۱۳۹۲ بـذر هر بوته به‌طـور جداگانـه برداشـت شـد. بـذر هـر تک بوته بوجاری و پس از توزین به‌عنـوان یـک فامیل نیمه‌خواهری جدید کدگذاری شـد. بـدین ترتیـب از چهـار فامیـل منتخـب جمعیـت ۱۲۴۶۰ درمجمـوع ۱۲۰ فامیـل نیمـه‌خـواهری و از تنهـا فامیـــل منتخـــب جمعیـــت ۱۲۶۵۰ تعـــداد ۹۰ فامیل نیمه‌خواهری جدید بدست آمد.

یکصدوبیست فامیـل جدیـد جمعیـت ۱۲۴۶۰ بـه‌همـراه جمعیـت اولیـه، یـک شـاهد حسـاس و چهار شاهد مقاوم به سـاقه‌روی در دهـه دوم مهـر سـال ۱۳۹۲ در مزرعـه ایسـتگاه تحقیقـات کشاورزی اولتان مغان کشت شـد و در دهـه اول خرداد سال ۱۳۹۳ نسبت به شمارش تعداد بوته به ساقه رفته هر ژنوتیـپ و تعیـین درصـد سـاقه‌روی آنهـا اقـدام گردیـد. نـود فامیـل جدیـد جمعیـت ۱۲۶۵۰ نیز به‌همراه جمعیت والدینی، یـک شـاهد حسـاس و چهـار شـاهد مقـاوم در دهـه دوم مهـر سال ۱۳۹۳ در مزرعـه تحقیقـاتی مـذکور کشـت شدند و در دهه اول خرداد سـال ۱۳۹۴ نسـبت بـه یادداشـــت‌بـــرداری و تعیـــین میـــزان ســـاقه‌روی فامیل‌ها اقدام شد.

در هـر دو سـال، آزمایشـات در قالـب طـرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و هر کرت آزمایشی شامل یک خط بـه طـول پـنج متر (۲۵ بوته) بود. در اسـفند هـر سـال نسـبت بـه تنک مزرعه آزمایشی و سپس شمارش بوته‌هـای

هر کرت اقدام شد. در دهه اول خرداد، مجدداً شمارش تعداد بوته و همچنین تعداد بوته به ساقه رفته در هر کرت انجام و درصد ساقه‌روی هر ژنوتیپ در هر کرت محاسبه شد.

داده‌های حاصل از هر آزمایش پس از تبدیل زاویه‌ای و کسب اطمینان از نرمال بودن توزیع‌شان با استفاده از نرم افزار SAS ver. 9.1.3 تجزیه آماری شد و به‌منظور مقایسه درصد ساقه‌روی هر فامیل با جمعیت والدینی خود، ژنوتیپ‌ها براساس میانگین درصد ساقه‌روی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد گروه‌بندی شدند.

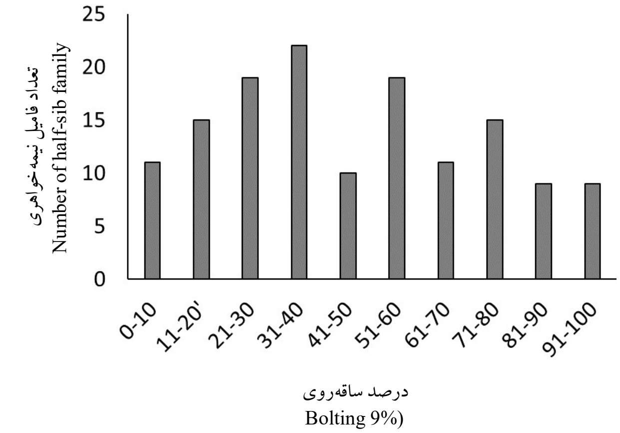
محاسبه وراثت‌پذیری خصوصی مقاومت به ساقه‌روی برمبنای واکنش دو جمعیت مورد استفاده و نتاج حاصل از آنها به گزینش صورت گرفت. بدین منظور ابتدا مقادیر دیفرانسیل گزینش (Selection differential = S) و متعاقب آن پاسخ به گزینش (Response to selection = R) محاسبه شد و از تقسیم این دو کمیت بر یکدیگر (R/S) مقدار وراثت‌پذیری خصوصی بدست آمد (Gardner *et al*., 1991; Rajabi *et al*., 2014).

نتایج و بحث

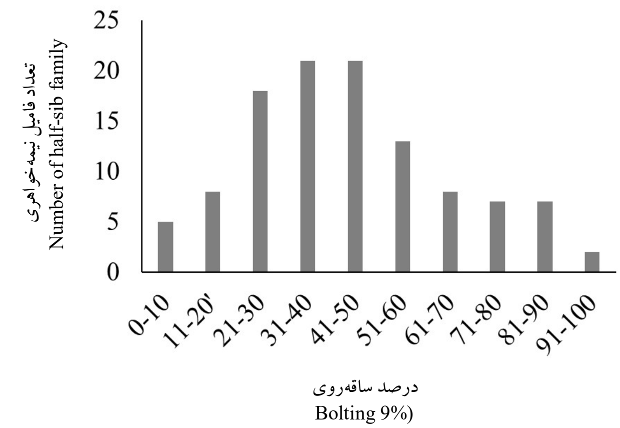
در ارزیابی مقدماتی سال ۹۰-۱۳۸۹ فامیل‌های هر دو جمعیت تنوع بالائی از نظر ساقه‌روی نشان دادند. میانگین ساقه‌روی دو شاهد حساس و مقاوم به ترتیب ۶۴/۹۳ و ۰/۲۹ درصد بود. در این شرایط درصد ساقه‌روی ۱۴۰ فامیل نیمه‌خواهری جمعیت ۱۲۴۶۰ از صفر تا ۹۷/۹۶ درصد متغیر بود، درحالی که میزان ساقه‌روی جمعیت اولیه معادل ۴۷/۰۱ درصد محاسبه شد (شکل ۱). در این جمعیت از میان ۱۴۰ فامیل مورد مطالعه میزان ساقه‌روی تعداد ۷۶ فامیل کمتر از میانگین ساقه‌روی جمعیت والدینی (۴۷/۰۱ درصد) و میزان ساقه‌روی ۶۴ فامیل بیشتر از آن بود. از میان فامیل‌های مورد بررسی تعداد چهار فامیل انتخاب شد که درصد ساقه‌روی دو فامیل صفر و دو فامیل دیگر برابر با ۲/۵ و ۴/۷۶ درصد بود.

میانگین ساقه‌روی جمعیت والدینی ۱۲۶۵۰ کمی کمتر از جمعیت ۱۲۴۶۰ و معادل ۴۴/۹۴ درصد بدست آمد، درحالی‌که این میزان در ۱۱۰ فامیل مورد بررسی این جمعیت از حداقل ۵/۱۳ درصد تا حداکثر ۹۷/۸۷ درصد متغیر بود (شکل ۲). در این جمعیت نیز میانگین ساقه‌روی ۶۰ فامیل کمتر از میانگین ساقه‌روی جمعیت والدینی (۴۴/۹۴ درصد) و میانگین ساقه‌روی ۵۰ فامیل بیشتر از آن بود. از فامیل‌های مورد ارزیابی در این جمعیت تنها یک فامیل که دارای حداقل درصد ساقه‌روی (۵/۱۳ درصد) بود به‌عنوان مقاوم‌ترین فامیل انتخاب شد.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش سال ۹۳-۱۳۹۲ که به ارزیابی فامیل‌های جدید جمعیت ۱۲۴۶۰ اختصاص داشت، اثر ژنوتیپ معنی‌دار شد که حاکی از تفاوت سطح



شکل ۱- مقایسه درصد ساقه‌روی ۱۴۰ فامیل نیمه‌خواهری متعلق به جمعیت ۱۲۴۶۰ در سال ۹۰-۱۳۸۹
Fig. 1. Comparison of the bolting percentage in 140 half-sib families derived from population 12460 in 2010-11



شکل ۲- مقایسه درصد ساقه‌روی ۱۱۰ فامیل نیمه‌خواهری متعلق به جمعیت ۱۲۶۵۰ در سال ۹۰- ۱۳۸۹
Fig. 2. Comparison of the bolting percentage in 110 half-sib families derived from population 12650 in 2010-11

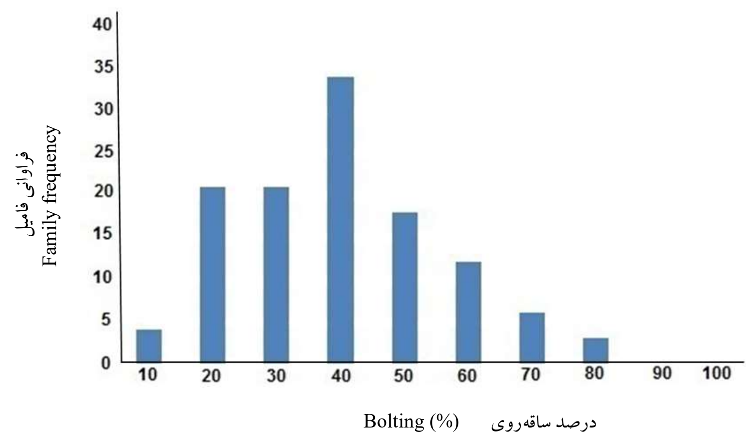
مقاومت فامیل‌ها نسبت به ساقه‌روی بود (جدول ۱).

میزان ساقه‌روی شاهد حساس معادل ۹۸/۳۳ درصد بود و میانگین ساقه‌روی چهار شاهد مقاوم از حداقل ۷/۳۸ تا حداکثر ۴۱/۶۵ درصد متغیر بود. میزان ساقه‌روی جمعیت ۱۲۴۶۰ نیز برابر با ۷۳/۲۰ درصد بود. در این شرایط میزان ساقه‌روی فامیل‌ها از حداقل ۵/۲۶ تا حداکثر ۷۸/۸۹ درصد نوسان داشت. در میان فامیل‌های مورد بررسی، دو فامیل با میانگین

جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌ها برای درصد ساقه‌روی در فامیل‌های جمعیت ۱۲۴۶۰ در سال ۹۳-۱۳۹۲
Table 1. Analysis of variance for bolting percentage in population 12460 in 2013-14

S.O.V.	منبع تغییر	df.	Mean square	F	P>F
Replication	تکرار	2	1608.695	10.40	0.0001
Genotype	ژنوتیپ	124	463.930	3.00	0.0001
Error	خطا	248	154.748		

ساقه‌روی ۵/۲۶ و ۶/۹۴ درصد از مقاوم‌ترین شاهد آزمایش مقاوم‌تر و دو فامیل نیز با میزان ساقه‌روی ۷۴/۹۱ و ۷۸/۸۹ درصد از جمعیت والدینی خود حساس‌تر بودند. توزیع فامیل‌ها براساس میانگین ساقه‌روی و مقایسه آن با درصد ساقه‌روی جمعیت والدینی حاکی از افزایش سطح مقاومت فامیل‌ها و تاثیر مثبت گزینش بر آن بود به نحوی که بیشتر فامیل‌ها در دسته‌های با ساقه‌روی کم قرار گرفتند (شکل ۳). مقایسه ساقه‌روی هر یک از فامیل‌ها با میانگین ساقه‌روی جمعیت والدینی ۱۲۴۶۰ نشان داد که از تعداد ۱۱۹ فامیل مورد بررسی تعداد ۹۸ فامیل (قریب به ۸۲ درصد) از این نظر تفاوت معنی‌دار با جمعیت اولیه خود داشته و از آن مقاوم‌تر بودند.



شکل ۳- توزیع فامیل های جمعیت تتراپلوئید ۱۲۴۶۰ براساس میانگین ساقه‌روی در سال ۹۳ - ۱۳۹۲
Fig. 3. Distribution of families of the tetraploid population 12460 based on mean bolting percentage in 2013-14

در آزمایش سال ۹۴-۱۳۹۳ از ۹۰ فامیل نیمه‌خواهری جدید جمعیت ۱۲۶۵۰، ۸۷ فامیل به همراه جمعیت والدینی، پنج شاهد مقاوم و یک شاهد حساس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. از پنج شاهد مقاوم تعداد چهار شاهد و

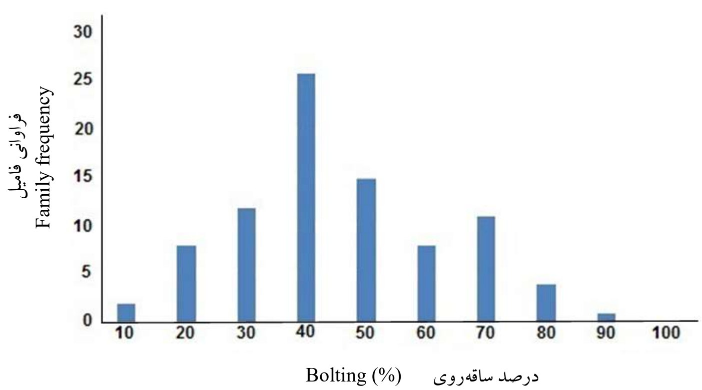
همچنین شاهد حساس مشابه آزمایش سال پیشین بود. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ معنی‌دار بود و فامیل‌های مورد بررسی از نظر میزان ساقه‌روی با یکدیگر تفاوت نشان دادند (جدول ۲).

میانگین ساقه‌روی ارقام شاهد مقاوم به ترتیب معادل ۸/۰۲، ۲۴/۰۳، ۲۶/۶۲، ۵۰/۴۴ و ۶۴/۰۳ درصد و شاهد حساس ۹۱/۱۸ درصد بدست آمد. جمعیت والدینی ۱۲۶۵۰ نیز دارای ۶۶/۸۸ درصد ساقه‌روی بود. در این شرایط میانگین ساقه‌روی فامیل‌های نیمه‌خواهری این جمعیت از حداقل ۶/۶۲ تا حداکثر ۸۳/۷۱ درصد متغیر بود. برخلاف فامیل‌های جمعیت ۱۲۴۶۰، توزیع فامیل‌های جمعیت ۱۲۶۵۰ از نظر مقاومت به ساقه‌روی در مقایسه با جمعیت والدینی خود تمایل کمتری به سمت دسته‌های مقاوم نشان داد و بیشتر فامیل‌ها در دسته‌های میانی قرار گرفتند که حاکی از مقاومت نسبی آنها بود (شکل ۴).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس داده‌های برای درصد ساقه روی در فامیل های جمعیت ۱۲۶۵۰ در سال ۹۴-۱۳۹۳

Table 2. Analysis of variance for bolting percentage of the population 12650 in 2014-15

S.O.V.	منبع تغییر	df.	Mean square	F	P>F
Replication	تکرار	2	6580.210	27.45	0.0001
Genotype	ژنوتیپ	93	505.740	2.11	0.0001
Error	خطا	186	239.710		



شکل ۴- توزیع فامیل‌های جمعیت تتراپلوئید ۱۲۶۵۰ براساس میانگین ساقه‌روی در آزمایش سال ۹۴ - ۱۳۹۳

Fig. 4. Distribution of families of the tetraploid population 12650 based on mean bolting percentage in 2014-15

درواقع در جمعیت ۱۲۶۵۰ پاسخ به گزینش برای افزایش مقاومت به ساقه‌روی در مقایسه با جمعیت ۱۲۴۶۰ چندان مثمرثمر نبود و هنوز می‌توان با استفاده از فامیل‌های مقاوم این

جمعیت و تهیه فامیل‌های جدید از آنها سطح مقاومت را افزایش داد. از میان ۸۷ فامیل مورد بررسی، تعداد دو فامیل با میانگین ساقه‌روی ۶/۶۲ و ۷/۱۸ درصد از مقاوم‌ترین شاهد آزمایش (۸/۰۲ درصد) مقاوم‌تر بودند، ولی تعداد هشت فامیل نیز در مقایسه با جمعیت والدینی خود نسبت به ساقه‌روی حساس‌تر بودند. درمجموع از ۸۷ فامیل نیمه‌خواهری مورد بررسی تعداد ۴۷ فامیل (قریب به ۵۴ درصد) از نظر مقاومت به ساقه‌روی با جمعیت والدینی خود تفاوت معنی‌دار داشتند و از آن مقاوم‌تر بودند.

نتایج این پژوهش دلالت بر وجود تنوع بالا برای مقاومت به ساقه‌روی در میان مواد به‌نژادی موجود دارد. همان‌گونه که سایر محققان (Sadeghian *et al.,* 1993) به آن اشاره کرده‌اند، می‌توان از این تنوع برای دستیابی به لاین‌های مقاوم بهره برد. علی‌رغم این که مقاومت به ساقه‌روی در چغندرقند صفتی چندژنی و به شدت متاثر از عوامل محیطی می‌باشد، ولی نسبت به گزینش به خوبی پاسخ داده و می‌توان به دنبال چند دوره گزینش برپایه ارزیابی نتاج به سطوح بالائی از مقاومت دست یافت (Sadeghian and Sharifi, 1999; Biancardi *et al*., 2005; Takahashi *et al*., 2005). توزیع فامیل‌های حاصل از دو جمعیت مورد مطالعه در دسته‌های مختلف از نظر مقاومت به ساقه‌روی، دستیابی به فامیل‌هائی که از ارقام شاهد نیز مقاوم‌تر بودند و همچنین وجود تفاوت معنی‌دار بین درصد بالائی از فامیل‌ها با جمعیت والدینی خود از نظر مقاومت به ساقه‌روی موید این مطلب است.

میانگین ساقه‌روی جمعیت‌های مورد استفاده و همچنین نتاج آنها طی ارزیابی مقدماتی سال ۱۳۸۹ و ارزیابی‌های تکمیلی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ مبنای برآمد وراثت‌پذیری خصوصی قرار گرفت. در ارزیابی مقدماتی، میانگین درصد ساقه‌روی دو جمعیت ۱۲۴۶۰ و ۱۲۶۵۰ به‌ترتیب معادل ۴۷/۰۱ و ۴۴/۹۴ درصد بدست آمد. در این ارزیابی، از جمعیت ۱۲۴۶۰ چهار فامیل انتخاب گردید که میانگین ساقه‌روی آنها معادل ۱/۸۱۵ درصد و میانگین ساقه‌روی تنها فامیل انتخابی از جمعیت ۱۲۶۵۰ معادل ۵/۱۳ درصد بود. بدین ترتیب مقدار دیفرانسل گزینش (S) برای جمعیت اول (۱۲۴۶۰) برابر با ۴۵/۱۹ و برای جمعیت دوم ۳۹/۸۱ درصد محاسبه شد (جدول ۳).

در ارزیابی تکمیلی سال ۱۳۹۲، میانگین ساقه روی جمعیت ۱۲۴۶۰ معادل ۷۳/۲ درصد و میانگین ساقه‌روی ۱۲۰ فامیل جدیدی که از تکثیر بذر چهار فامیل منتخب بدست آمده بودند برابر با ۳۴/۵۸ درصد بود. بدین ترتیب مقدار عددی پاسخ به گزینش (R) برای جمعیت ۱۲۴۶۰ معادل ۳۸/۶۲ بدست آمد. براساس نتایج آزمایش سال ۱۳۹۳ میانگین ساقه‌روی جمعیت ۱۲۶۵۰ معادل ۶۶/۸۸ درصد و میانگین ساقه‌روی ۸۷ فامیل جدیدی که از تکثیر بذر تنها فامیل منتخب این جمعیت بدست آمد برابر

جدول ۳- محاسبه دیفرانسیل گزینش براساس نتایج ارزیابی مقدماتی در سال ۹۰ - ۱۳۸۹
Table 3. Measurement of selection differential based on preliminary evaluation in 2010-11

Germplasm	ژرم‌پلاسم	درصد ساقه‌روی Bolting (%)	دیفرانسیل گزینش Selection differential
Population 12460	جمعیت ۱۲۴۶۰	47.01	45.195
Selected families	فامیل‌های منتخب	1.815	
Population 12650	جمعیت ۱۲۶۵۰	44.94	39.81
Selected families	فامیل‌های منتخب	5.13	

با ۴۱/۳۲ درصد بود که باتوجه‌به مقادیر فوق مقدار عددی پاسخ به گزینش (R) برای جمعیت ۱۲۶۵۰ معادل ۲۵/۵۶ بود (جدول ۴).

از تقسیم این دو کمیت مقدار وراثت‌پذیری خصوصی این صفت بدست آمد که برای جمعیت ۱۲۴۶۰ معادل ۰/۸۵ و برای جمعیت ۱۲۶۵۰برابر با ۰/۶۴ برآورد گردید (جدول ۴). صادقیان و همکاران (Sadeghian *et al.,* 1993) نیز در بررسی ژنتیک ساقه‌روی و طول ساقه در چغندرقند وراثت‌پذیری خصوصی را بین ۰/۹۳ تا ۰/۹۶ گزارش کردند. این نکته حائز اهمیت است که ژرم‌پلاسم مورد استفاده در این تحقیق جمعیت‌ها و فامیل‌های تتراپلوئید بودند و افزایش سطح ژنوم خود می‌تواند بر روابط بین آلل‌ها و نحوه واکنش ژن‌ها و درنهایت نحوه تظاهر صفت موثر باشد. شاید همین امر موجب بروز تفاوت بین مقدار توارث‌پذیری حاصل از این بررسی با مطالعات قبل بود. زیرا مقاومت به ساقه‌روی در چغندرقند خود از ماهیت پیچیده‌ای برخوردار است و دو برابر شدن تعداد کروموزوم‌ها نیز به احتمال قوی بر این پیچیدگی می‌افزاید.

جدول ۴- وراثت‌پذیری خصوصی برای مقاومت به ساقه روی براساس واکنش جوامع و فامیل‌های مورد مطالعه
Table 4. Narrow-sense heritability for bolting resistance based on response of populations and families

germplasm	ژرم‌پلاسم	درصد ساقه‌روی Bolting (%)	پاسخ به گزینش Response to selection	وراثت‌پذیری خصوصی Narrow-sense heritably
Population 12460	جمعیت ۱۲۴۶۰	73.2	38.62	0.85
New families	فامیل‌های جدید	34.58		
Population 12650	جمعیت ۱۲۶۵۰	66.88	25.56	0.64
New families	فامیل‌های جدید	41.32		

وراثت‌پذیری خصوصی بالا بیانگر پاسخ خوب ژنوتیپ‌ها به گزینش برای افزایش

مقاومت به ساقه‌روی است و نشان می‌دهد علی‌رغم ماهیت چندژنی مقاومت به ساقه‌روی می‌توان با چند نسل گزینش در جوامع مورد نظر سطح مقاومت به ساقه‌روی افزایش داد. طبق گزارش لیس‌گارد (Lysgaard, 1978) پس از سه دوره گزینش، میزان حساسیت به ساقه‌روی به نحو قابل ملاحظه‌ای در جوامع مورد مطالعه کاهش می‌یابد که نتایج این تحقیق نیز موید این مطلب است.

نتایج این پژوهش حاکی از وجود تنوع بسیار خوب در ژرم پلاسم چغندرقند از نظر مقاومت به ساقه‌روی می‌باشد. با وجود این تنوع، امکان گزینش برای دستیابی به پایه‌های بسیار مقاوم و در نهایت تهیه هیبریدهای مقاوم مناسب برای کشت پائیزه در مناطق مختلف کشور فراهم می‌شود. از سوی دیگر، علی‌رغم پیچیدگی صفت مقاومت به ساقه‌روی و تاثیرپذیری زیاد آن از عوامل محیطی، پاسخ مثبت آن به گزینش شرایط مناسبی برای پیشرفت و ارتقاء سطح مقاومت را بوجود آورده و موجب تسریع روند برنامه‌های به‌نژادی می‌گردد. در این پژوهش به‌دنبال اعمال دو دوره گزینش برپایه نتاج نیمه‌خواهری، تعداد چهار فامیل بسیار مقاوم که از مقاوم‌ترین ارقام شاهد نیز مقاوم‌تر بودند و تعداد زیادی فامیل با مقاومت قابل ملاحظه بدست آمد که می‌توان از آنها در چرخه‌های گزینشی مکمل بهره برد و به پایه‌های مقاوم به ساقه‌روی بیشتری دست یافت.

سپاسگزاری

نگارندگان از همکاری کلیه دست‌اندرکاران مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل که ما را در اجرای آزمایشات مزرعه‌ای یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنند.

References

Alimirzaee, M., Mirzaie-Asl, A., Abdollahi, M. R., Kolaei, H. E., and Fasahat, P. 2018. The mRNA sequence polymorphisms of flowering key genes in bolting sensitive or tolerant sugar beet genotypes. Biotechnologia 98 (3): 209-217.

Andres, F., and Coupland G. 2012. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. Nature Reviews Genetics 13: 627-639.

Biancardi, E., Campbell, L. G., Skaracis, G. N., and Biaggi, M. D. 2005. Genetics and breeding of sugar beet. USA: Science Publishers Inc. 388 pp.

Broccanello, C., Stevanato, P., Biscarini, F., Cantu, D., and Saccomani, M. 2015. A new polymorphism on chromosome 6 associated with bolting tendency in sugar beet. BMC Genetics 16 (1): 1.

Fasahat, P., Norouzi, P., Aghaeezadeh, M., and Sadeghzadeh Hemayati, S. 2018a. Epigenetic control of bolting in sugar beet. Pp. 1-6. In: Proceedings 9th National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources.

Fasahat, P., Aghaeezadeh, M., Jabbari, L., Sadeghzadeh Hemayati, S., and Townson, P. 2018b. Sucrose accumulation in sugar beet: from fodder beet selection to genomic selection. Sugar Tech 20 (6): 635-644.

Gardner, E. J., Simmons, M. J., and Snustad, D. P. 1991. Principles of genetics. 8th edition. John Wiley and Sons, Inc. 649 pp.

Hebrard, C., Peterson, D. G., Willems, G., Delaunay, A., Jesson, B., Lefebvre, M., Barnes, S., and Maury, S. 2015. Epigenomics and bolting tolerance in sugar beet genotypes. Journal of Experimental Botany 67: 207-225.

Hebrard, C., Trap-Gentil, M. V., Lafon-Placette, C., Delaunay, A., Joseph, C., Lefebvre, M., Barnes, S., and Maury, S. 2013. Identification of differentially methylated regions during vernalization revealed a role of RNA methyltransferase in bolting. Journal of Experimental Botany 64: 651-663.

Lysgaard, C. P. 1978. Selection for reduced bolting susceptibility in beet and swedes, and the influence of environmental factors on bolting. Kgl Vet-og Landbohoejsk Arsskr 135-158.

Marcum, W. B. 1948. Inheritance of bolting resistance. Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technologists 5: 154-155.

Mutasa-Gottgens, E. S., Qi, A., Zhang, W., Schulze-Buxloh, G., Jennings, A., Hohmann, U., Muller, A. E., and Hedden, P. 2010. Bolting and flowering control in sugar beet: relationships and effects of gibberellin, the bolting gene B and vernalization. AoB Plants 10.1093/aobpla/plq012.

Ogata, N., Taguchi, K., and Nakatsuka, K. 2005. Improvement methods for bolting tolerance by using artificial vernalization in sugar beet [*Beta vulgaris*] O types. Proceedings of the Japanese Society of Sugar Beet Technologists 46: 1-7.

Rajabi, A., Pirniya, P., Amiri, R. Salimi, S., Ebrahimi, M., and Aghaeezadeh, M. 2014. Assessment of heritability and identification of suitable hybrids for late sowing in sugar beet. Journal of Sugar Beet 29 (2): 163-174.

Sadeghian, S. Y., Becker, H. C., and Johansson, E. 1993. Inheritance of bolting in three sugar beet crosses after different periods of vernalization. Plant Breeding 110: 328-333.

Sadeghian, S. Y., and Sharifi, H. 1999. Improvement of sugar beet for combined resistance to bolting and *Cercospora* leaf spot. Pp. 61-67. In: Proceedings of the 62nd International Institute of Beet Research Congress.

Takahashi, H., Okazaki, K., and Nakatsuka, K. 2005. Effects of bolting resistance selection and its influence on other characteristics in sugar beet (*Beta vulgaris*) multigerm pollen parents. Pp. 37-42. In: Proceedings of the Japanese Society of Sugar Beet Technologists, Japan.

Wellensiek, S. J. 1964. Dividing cells as the prerequisite for vernalization. Plant Physiology 39: 832-835.